

PERUBAHAN KOMPOSISI MINERAL SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS PADA PRODUK MATERIAL RINGAN BERBASIS ABU TERBANG BATUBARA

Hariyanto Soetjijo¹, Gurharyanto¹, Anggoro Tri Mursito¹, dan M. Ulum A. Gani¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
E-mail: bmwhayi@yahoo.com

Abstrak

Abu terbang sebagai sisa pembakaran batubara mengandung beberapa komponen utama seperti silika, alumina, besi oksida, kalsium oksida, magnesium oksida, dan karbon. Kombinasi abu terbang dengan material berbasah dasar aluminium menimbulkan reaksi kimia dan keluarnya gas hidrogen menyebabkan pengembangan volume karena rongga-rongga yang terbentuk seiring dengan keluarnya gas hidrogen akan terisi udara. Produk ubahan tersebut selanjutnya bereaksi dengan pasir kuarsa pada saat dipanaskan pada temperatur dan tekanan tertentu kemudian kalsium silika hidrat dihasilkan sebagai produk akhir yang bobotnya relatif ringan. Densitas produk material ringan berkisar antara (800-1000)kg/m³ sedangkan angka kuat tekan bervariasi tergantung pada metode dan waktu pengeringan yang diterapkan. Produk yang dikeringkan pada suhu kamar mempunyai angka kuat tekan (2,00-81,00) kg/cm² sedangkan untuk produk yang dikeringkan dengan autoclave (19,00-28,00) kg/cm² untuk pengeringan selama 9 jam. Analisa Xray Diffraction (XRD) memperlihatkan bahwa kandungan mineral yang terbentuk pada produk bervariasi. Sampel produkno 1 (kuat tekan 2,00 kg/cm² dan dikeringkan pada suhu kamar) mempunyai kandungan mineral sebagai berikut: calcium carbonat; silicon oxide dan alumunium silikat sedangkan pada sampel produk no 2 (kuat tekan 81,00 kg/cm², suhu kamar) adalah: calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat; magnesium iron carbonate hydroxide dan potassium aluminum silikat hydroxide. Kandungan mineral yang terdapat pada sampel produk no 3 (kuat tekan 28,00 kg/cm², autoclave) adalah: calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat; dan calcium hydroxide. Hasil SEM dengan perbesaran 150X memperlihatkan bahwa didalam sampel produk no 1 dan no 3, terdeteksi gelembung udara dengan jumlah yang lebih banyak dari pada sampel no 2. Ukuran gelembung udara pada sampel no 1 juga jauh lebih besar dibandingkan dengan ukuran gelembung udara pada sampel no 3 dan no 2. Hasil analisa SEM dengan perbesaran 3000X memperlihatkan bahwa pada sampel no 1 mineral ettringite tampak mendominasi dan mineral calcium silikat hidrat sangat sedikit. Pada sampel no 2 terlihat penyebaran mineral ettringite berkurang dan muncul mineral tobermorit dibeberapa bagian sedangkan pada sampel no 3 mineral tobermorit juga terlihat meskipun jumlahnya lebih sedikit.

Kata kunci: abu terbang, material ringan, kuat tekan, densitas, mineral.

PENDAHULUAN

Abu terbang sebagai sisa pembakaran batubara mengandung beberapa komponen utama seperti silika, alumina, besi oksida, kalsium oksida, magnesium oksida, dan karbon (Meyers dkk. 1976). Kandungan kalsium oksida yang ada didalam abu terbang tidak stabil sehingga pada saat bereaksi dengan air akan menghasilkan kalsium hidroksida. Penambahan material berbasah dasar aluminium yang bereaksi dengan kalsium hidroksida menimbulkan reaksi kimia dan keluarnya gas hidrogen yang menyebabkan pengembangan volume dari produk sehingga lebih ringan karena rongga-rongga yang terbentuk seiring dengan keluarnya gas hidrogen akan terisi udara. Produk ubahan kalsium hidroksida tersebut selanjutnya bereaksi dengan pasir kuarsa pada saat dipanaskan pada temperatur dan tekanan tertentu dan sebagai produk akhir akan diperoleh kalsium silika hidrat yang bobotnya relatif ringan.

Proses pengeringan material merupakan salah satu tahap penting dalam pembuatan material ringan. Pengeringan adalah proses hidrasi, berkurangnya kadar air karena digunakan untuk reaksi dan karena penguapan. Didalam proses tersebut terjadi fenomena demineralisasi dari reaksi 3 unsur, yaitu kalsium (Ca), silika (Si) dan air (H₂O) membentuk mineral sintesis tobermorit. Mineral tobermorit adalah pendukung utama kekuatan bahan berbasis semen pc, semakin banyak terbentuk tobermorit kekuatan bahan semakin

besar. Adanya mineral tobermorit berkaitan erat dengan tingkat keberhasilan reaksi yang terjadi selama proses hidrasi meskipun berbagai faktor-faktor ikut mempengaruhi pembentukannya.

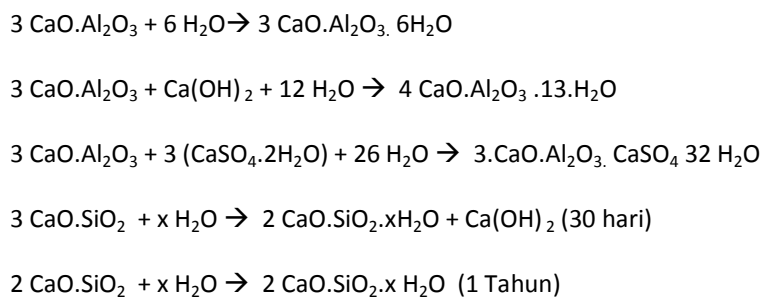
TUJUAN PENELITIAN

Komposisi mineral pada produk material ringan ternyata ikut berubah sesuai dengan kualitas produk material ringan tersebut (yang dinyatakan dengan densitas dan kuat tekan). Berdasarkan hal tersebut maka dalam tulisan ini akan dibahas mengenai perubahan yang terjadi pada komposisi mineral produk material ringan dan dampaknya pada kualitas produk.

METODOLOGI

Hipotesa yang mendasari studi ini adalah: Abu terbang sebagai sisa pembakaran batubara mengandung beberapa komponen utama seperti silika, alumina, besi oksida, kalsium oksida, magnesium oksida, dan karbon (Meyers dkk., 1976). Kandungan kalsium oksida yang ada didalam abu terbang tidak stabil sehingga pada saat bereaksi dengan air akan menghasilkan kalsium hidroksida. Pada proses lanjutan penambahan aluminium powder yang bereaksi dengan kalsium hidroksida menimbulkan beberapa reaksi kimia yang antara lain menghasilkan gas hidrogen. Keluarnya gas hidrogen menyebabkan pengembangan volume dari produk sehingga lebih ringan karena rongga-rongga yang terbentuk seiring dengan keluarnya gas hidrogen akan terisi udara. Produk ubahan kalsium hidroksida tersebut selanjutnya bereaksi dengan pasir kuarsa pada saat dipanaskan pada temperatur dan tekanan tertentu dan sebagai produk akhir akan diperoleh berbagai mineral yang merupakan ubahan dari kalsium silika hidrat yang bobotnya relatif ringan (Schober, 2005) lihat Gambar 1. Reaksi-reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 1 (Sinica, 2009). Material ringan ini mempunyai beberapa sifat unggul antara lain *high strength*, tahan panas dll.

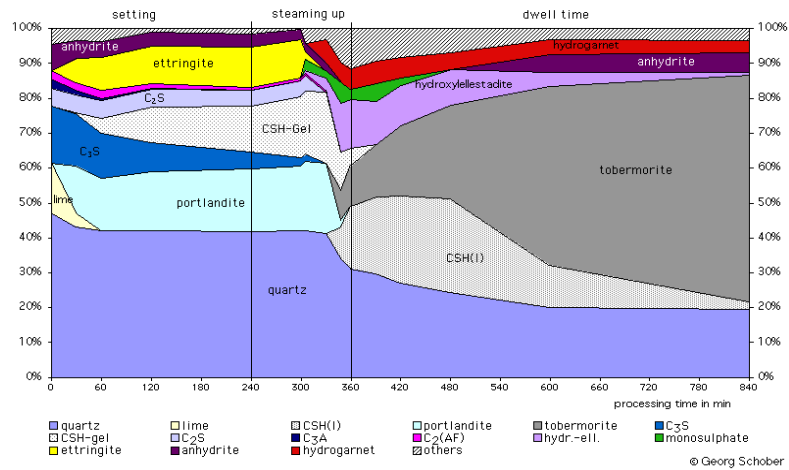
Tabel 1: Reaksi kimia antara unsur silika, kalsium, alumina dan air (Sinica, 2009) :



Material

Bahan baku yang digunakan adalah: Abu terbang, semen, kapur, gypsum, silica, dan bahan kimia foam agent. Abu terbang berasal dari PLTU Suralaya, Banten. Sedangkan semen, kapur, silica, gypsum dan bahan lainnya menggunakan bahan teknis yang dapat dibeli ditoko-toko.

Bahan-bahan yang digunakan mempunyai fungsi yang berbeda, abu terbang berfungsi sebagai agregat halus, pasir silica sebagai agregat kasar, semen pc dan *water glass* sebagai bahan perekat. Bahan tambahan gypsum berfungsi untuk mengatur waktu pengerasan, kapur untuk menambah kekuatan bahan, delta mix foam agent sebagai bahan pembentuk busa dan lemak untuk mengurangi daya rekat bahan dan cetakan. Bahan foam agent (fa) yang digunakan adalah *foam cement admixture* yaitu sejenis bahan kimia sintetis yang telah diencerkan dengan perbandingan 1:40, kemudian dimasukkan kedalam foam generator. Komposisi kimia foam agent adalah $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{O} \text{SO}_3\text{Na}^+$, bersifat basa dan menghasilkan busa yang stabil sehingga cocok untuk digunakan dalam pembuatan material berpori. Komposisi abu terbang yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.



Gambar 1. Demineralisasi semen PC dan bahan lainnya (dari Schober, 2005)

Tabel 2. Hasil Analisa AAS Bahan Baku Abu Terbang

No	UNSUR OKSIDA	% BERATABU TERBANG
1	CaO	5,00
2	SiO ₂	47,80
3	Al ₂ O ₃	25,30
4	Fe ₂ O ₃	16,00
5	MgO	2,70
6	P ₂ O ₅	0,10
7	TiO ₂	1,80
8	Na ₂ O	-
9	K ₂ O	0,80
10	SO ₃	0,20
11	<i>Loss on Ignation</i>	-

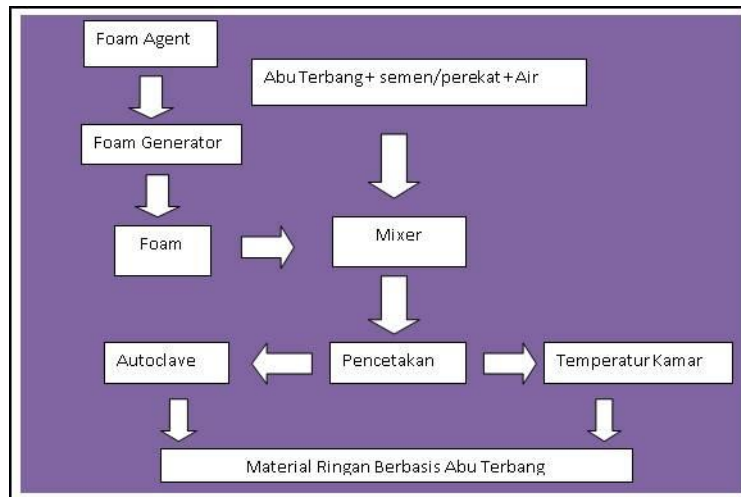
Peralatan

Peralatan yang diperlukan untuk proses pembuatan material ringan adalah: timbangan, mixer, alat cetak, foam generator, autoclave dan rak pengering (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Peralatan Proses berupa foam generator dan autoclave

Urutan pembuatan material ringan dapat dilihat pada diagram alir pembuatan material ringan seperti pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Diagram alir pembuatan material ringan skala laboratorium

Benda uji berukuran 10x10x10 cm dibuat dengan sistim cetak tuang, dikeringkan pada temperatur kamar dan temperatur tertentu dengan menggunakan autoclave. Selanjutnya benda uji tersebut dikarakterisasi dengan mengukur nilai density dan kuat tekannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan di laboratorium dengan komposisi bahan yang berbeda dan kondisi suhu kamar selama 28 hari serta autoclave selama 9 jam telah dirangkum pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Komposisi bahan, densitas dan kuat tekan conto material ringan

No conto	Komposisi Bahan (Prosen Berat)	Kondisi	densitas (kg/m ³)	Kuat tekan (kg/cm ²)
1	70% fa-10% pc-(af) 20%	Suhu kamar 28 hari	800	2,00
2	50%fa-10% Si-30% pc-(af) 10%	Suhu kamar 28 hari	1000	81,00
3	60% fa-30% Si- -(af) 10%	Autoclave 9 jam	1000	28,00

Hasil analisa sampel produk yang dihasilkan memperlihatkan bahwa nilai densitas produk material ringan ternyata berkisar antara (800-1000) kg/m³. Dilain pihak angka kuat tekan produk yang dihasilkan bervariasi tergantung pada metode dan waktu pengeringan. Produk yang dikeringkan pada suhu kamar mempunyai angka kuat tekan antara (2,00-81,00) kg/cm² sedangkan untuk produk yang dikeringkan dengan autoclave kuat tekan adalah 28,00kg/cm² untuk pengeringan selama 9 jam. Beberapa literatur yang diacu menunjukkan bahwa material ringan pracetak berbasis semen yang memenuhi standar mutu adalah mempunyai nilai density material ringan (400-900) kg/m³ dan kekuatan tekannya (40-80) kg/cm² (Schober, 2005). Berdasarkan data-data tersebut dapat dikatakan bahwa dari sisi densitas ketiga sampel produk memenuhi syarat sebagai produk material ringan meskipun berdasarkan criteria kuat tekan dua sampel produk kurang memenuhi (sampel no 1 dan no 3).

Tabel 4. Komposisi mineral dari produk contoh material ringan (berdasarkan analisa XRD)

No conto	Komposisi mineral (analisa XRD)	Kondisi	Densitas (kg/m ³)
1	calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat.	Suhu kamar 28 hari	800
2	calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat; magnesium iron carbonate hydroxide ; potassium aluminum silikat hydroxide.	Suhu kamar 28 hari	1000
3	calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat; calcium hydroxide	Autoclave 9 jam	1000

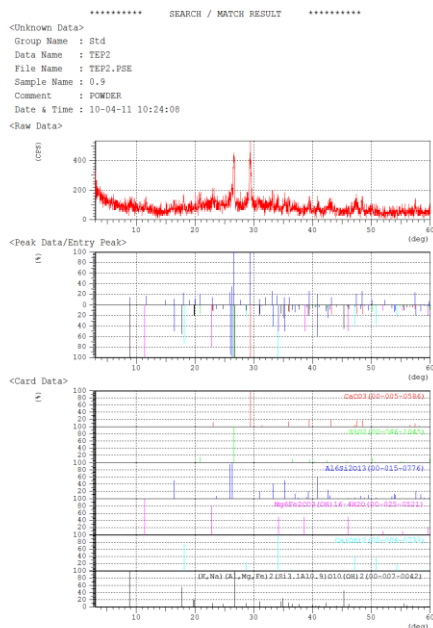
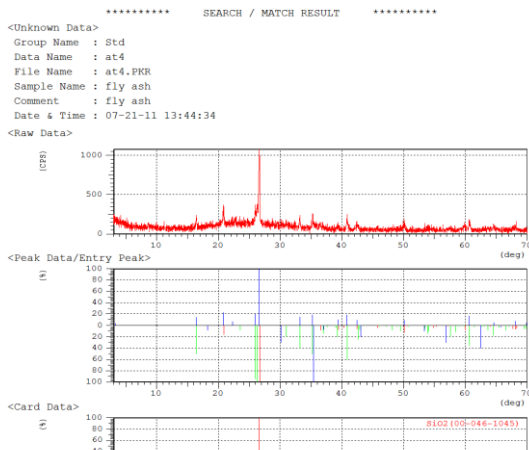
Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD) memperlihatkan bahwa kandungan mineral yang terbentuk pada produk bervariasi. Sampel produk no 1 (kuat tekan 2,00 kg/cm² dan dikeringkan pada suhu kamar) (lihat Gambar 5) mempunyai kandungan mineral sebagai berikut: calcium carbonat; silicon oxide dan alumunium silikat. Dilain pihak kandungan mineral pada sampel produk no 2 (kuat tekan 81,00 kg/cm², suhu kamar) (lihat Gambar 6) adalah: calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat; magnesium iron carbonate hydroxide dan potassium aluminum silikat hydroxide. Kandungan mineral yang terdapat pada sampel produk no 3 (kuat tekan 28,00 kg/cm², autoclave) (lihat Gambar 7) adalah: calcium carbonat; silicon oxide; alumunium silikat; dan calcium hydroxide. Hasil analisa mineral ini dirangkum pada Tabel 4.

Hasil analisa XRD tersebut memperlihatkan bahwa sampel no 2 mempunyai komposisi mineral yang berlainan dibandingkan dengan sampel no 1 dan 3 sesuai dengan proses yang dialaminya. Hal ini juga didukung oleh antara lain dengan hasil analisa kuat tekan. Hasil analisa kuat tekan seperti yang tercantum pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa sampel no 2 memiliki kuat tekan lebih baik (81,0 kg/cm²) diikuti oleh sampel no 3 (28,0 kg/cm²) dan sampel no 1 yang memiliki kuat tekan paling kecil (2,0 kg/cm²).

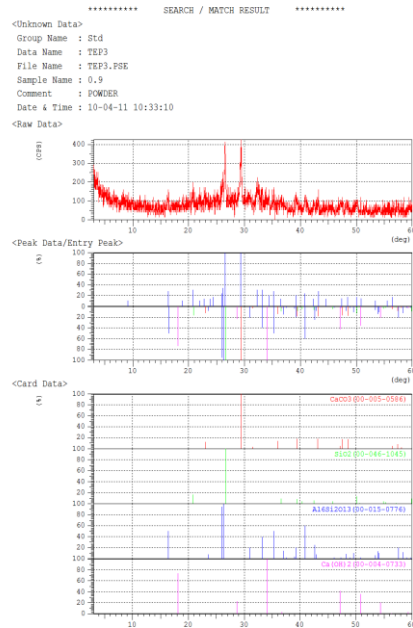
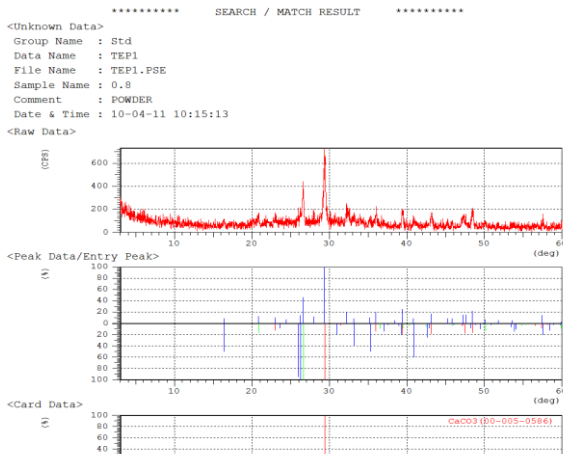
Kondisi ini juga didukung oleh hasil analisa mikroskopis yang dilakukan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) terhadap ketiga sampel tersebut. Hasil SEM dengan perbesaran 150X memperlihatkan bahwa pada sampel produk no 1 dan no 3, terdeteksi gelembung udara dengan jumlah yang lebih banyak dari pada sampel no2. Ukuran gelembung udara pada sampel no 1 juga relatif jauh lebih besar dibandingkan dengan ukuran gelembung udara pada sampel no 2 dan sampel no 3 (lihat Gambar 8, 9 dan 10).

Hasil analisa SEM dengan perbesaran 3000X mampu memperlihatkan pertumbuhan mineral yang terjadi selama proses. Hasil gambaran SEM yang diperoleh memperlihatkan bahwa pada sampel no 1 ditemukan mineral ettringite dengan jumlah terbanyak dibandingkan dengan sampel lainnya yaitu sampel no 2 dan no 3 bahkan pada sampel no 1 tersebut keberadaan mineral tobermorit sangat sedikit bahkan dapat dikatakan belum terbentuk (Gambar 11). Hal yang berlainan tampak pada sampel no 2 dimana terlihat penyebaran mineral ettringite berkurang dan muncul mineral tobermorit di beberapa bagian (Gambar 12) sedangkan pada sampel no 3 mineral tobermorit juga terlihat meskipun lebih sedikit jumlahnya (Gambar 13). Adanya perubahan komposisi mineral pada produk hasil proses tersebut juga diperlihatkan oleh Schober (2005) (lihat Gambar 1).

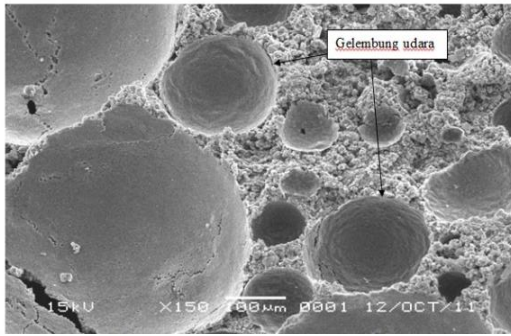
Berdasarkan hasil diatas dapat dikatakan bahwa sampel yang memiliki kuat tekan tertinggi (81,0 kg/cm²) yaitu sampel no 2 ternyata mempunyai kandungan mineral hasil ubahan yang berlainan dibandingkan dengan sampel no 1 dan no 3. Kurangnya gelembung udara dan ditemukannya mineral ubahan tobermorit yang relatif banyak pada sampel no 2 memperlihatkan bahwa kualitas sampel no 2 tersebut lebih baik dibandingkan dengan sampel lainnya. Pada sampel no 1 mineral ettringite tampak mendominasi sedangkan pada sampel no 2 terlihat penyebaran mineral ettringite berkurang dan muncul mineral tobermorit di beberapa bagian sedangkan pada sampel no 3. mineral tobermorit juga terlihat meskipun jumlahnya lebih sedikit.



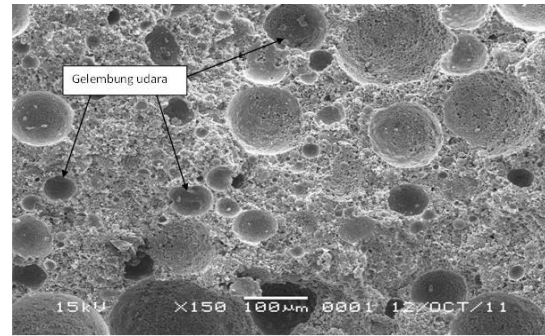
Gambar 6. Grafik XRD produk sampel no 1 (kuat tekan 81,00 kg/cm², suhu kamar).



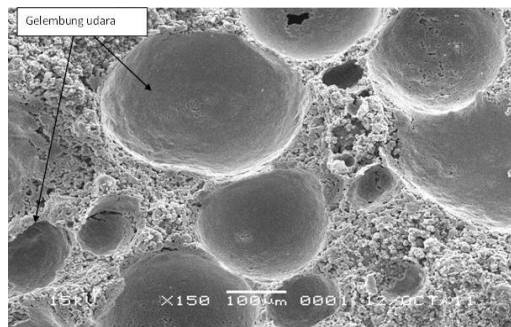
Gambar 7. Grafik XRD produk sampel no 3 (kuat tekan 28,0 kg/cm², autoclave 150x)



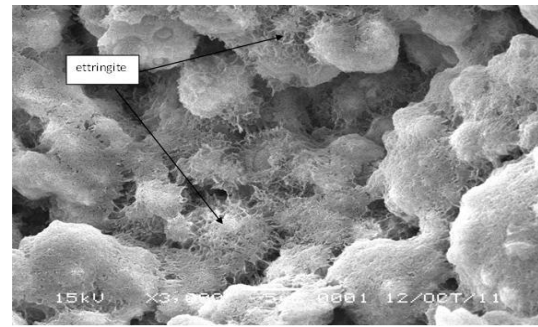
Gambar 8. Hasil SEM produk sampel no 1 (kuat tekan 2,0 kg/cm², suhu kamar) 150x



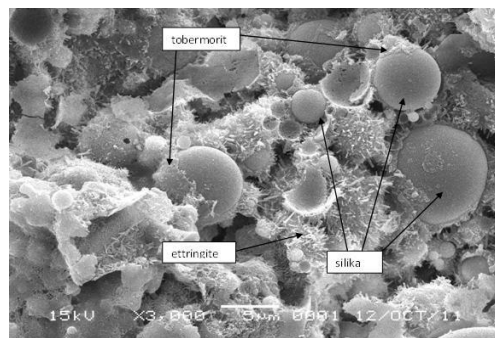
Gambar 9. Hasil SEM produk sampel no 2 (kuat tekan 81,0 kg/cm², suhu kamar) 150x



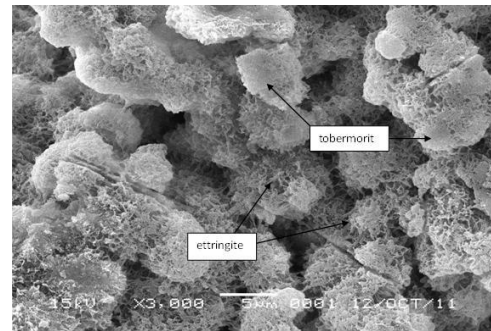
Gambar 10. Hasil SEM produk sampel no 3 (kuat tekan 28,0 kg/cm², autoclave) 150x



Gambar 11. Hasil SEM produk sampel no 1 (kuat tekan 2,0 kg/cm², suhu kamar) 3000x



Gambar 12. Hasil SEM produk sampel no 2 (kuat tekan 81,0 kg/cm², suhu kamar) 3000x



Gambar 13. Hasil SEM produk sampel no 3 (kuat tekan 28,0 kg/cm², autoclave) 3000x

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pembahasan diatas adalah:

1. Komposisi mineral dari produk material ringan berbasis abu terbang dapat berubah tergantung pada kualitasnya.
2. Keberadaan mineral sintetik ettringite atau tobermorit menjadi indikator kualitas produk material ringan tersebut. Keberadaan mineral ettringite menunjukkan kualitas produk yang tidak sebaik dibandingkan dengan produk yang memiliki lebih banyak mineral tobermorit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada berbagai pihak yaitu: Kapuslit Geoteknologi yang telah mendukung pelaksanaan studi ini. Bagian Keuangan Puslit Geoteknologi dan berbagai pihak lainnya seperti aparat daerah Banten dan Indonesian Power sehingga studi dapat berjalan sesuai dengan jadwal.

DAFTAR PUSTAKA

American Coal Ash Association, 1996. *Coal Combustion Product-Production and Use*. Alexandria, Virginia, 1997.

Federal Highway Administration and American Coal Ash Association, 1995. *Fly Ash Facts for Highway Engineers*. Report No. FHWA-SA-94-081, Washington, DC.

Schober G., 2005. *The Most Important Aspects of Microstructure Influencing Strength of AAC*. In AAC, Taylor & Francis, hal.145-153.

Kalyoncu, R.S., 2000. *Coal Combustion Products-U.S.* Geological Survey Minerals Yearbook 1999, v. 1

Meyers, James F., Raman Pichumani, and Bernadette S. Kapples, 1976. *Fly Ash. A Highway Construction Material*. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-IP-76-16, Washington, DC

Sinica, M., 2009. *Investigation of the Composite Material With Inclusion of AAC*. Kiev, Ukraina.